

PRINCIPAIS FATORES PETROGRÁFICOS CONDICIONANTES DA RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO EM ROCHAS DE REVESTIMENTO

Ana Paula Meyer^{1*}, Antonio Carlos Artur^{2*} e Fabiano Cabañas Navarro^{3*}

¹ Geóloga Mestranda do Curso de Pós-Graduação IGCE/UNESP

² Geólogo Prof. Dr. do Departamento de Petrologia e Metalogenia IGCE/UNESP

³ Geólogo Doutorando do Curso de Pós-Graduação IGCE/UNESP

*IGCE/UNESP – Av. 24 A, 1515, Bela Vista, CEP 13506-900 – Rio Claro – SP

Fone: (19)526-2824 / Fax: (19) 524-9644 –

E-mail: anapmeyer@yahoo.com.br; acartur@rc.unesp.br; navarrofc@bol.com.br

RESUMO

As rochas ornamentais e de revestimento estão sujeitas, nas suas mais variadas formas de utilizações em obras civis, a diversas solicitações de natureza física, mecânica, biológica e química. Dentre elas destaca-se a ação de compostos químicos atuantes em revestimentos externos, sujeitos a ação dos agentes atmosféricos e da poluição ambiental, e em ambientes internos mais agressivos, como em pisos e pias em banheiros e cozinhas, os quais estão em contato freqüente com água, exigem limpeza constante, além da ação dos diferentes produtos manipulados inerentes a cada um dos referidos ambientes. A ação desses compostos poderá traduzir-se em alterações das características físico-químicas das rochas, resultando em modificações minerais irreversíveis que afetam drasticamente a estética das rochas.

No presente trabalho foram testados dez tipos de rochas silicáticas produzidas nos estados de São Paulo e Minas Gerais, compreendendo granitos, monzonitos e sienitos, os quais foram submetidos, segundo as diretrizes estabelecidas pela norma de resistência ao ataque químico em placas cerâmicas esmaltadas (NBR 13818-Anexo H, 1997), ao ataque químico das substâncias químicas: cloreto de amônia, hipoclorito de sódio, ácido cítrico, hidróxido de potássio e ácido clorídrico.

Os resultados demonstraram que os granitos resistem melhor ao ataque dos agentes agressivos, apresentando classe de resistência baixa apenas em relação ao ácido clorídrico. Atribui-se a alta resistência desses materiais aos seus elevados teores de quartzo e feldspato potássico e a baixa porcentagem de biotita.

Os sienitos resistiram bem ao ataque do cloreto de amônia e hipoclorito de sódio, apresentando resistência baixa em relação ao ácido cítrico e clorídrico com evidentes perdas de brilho e intensa descoloração dos minerais máficos, sobretudo da egerina-augita, além da dissolução completa da apatita desenvolvendo cavidades milimétricas nas superfícies polidas.

Os monzonitos, apesar do bom entrelaçamento mineral e baixo microfissuramento, apresentaram razoável perda de brilho mesmo sob ataque do cloreto de amônia e hipoclorito de sódio, com intensa corrosão pelo ataque dos ácidos e alterações de cor com hidróxido de potássio. A baixa resistência dessas rochas é reflexo dos elevados teores de minerais máficos, ausência de quartzo e

maiores quantidades de plagioclásio em detrimento ao feldspato potássico.

INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais constituem materiais naturais próprios e de beleza única. Assim, cada material apresenta um aspecto estético distinto, reflexo das características petrográficas, tais como textura (tamanho dos grãos minerais), estrutura (disposição dos minerais) e composição mineralógica que indica a coloração da rocha.

Através do conhecimento das características petrográficas pode-se entender a origem e evolução das rochas (Rodrigues et al. 1996) e também é possível prever o comportamento físico-mecânico e químico quando empregadas em obras de engenharia (Navarro e Artur 2002), pois as características petrográficas determinam o comportamento tecnológico das rochas (Aires Barros 1991; Navarro, 2002). Por serem materiais naturais, é de extrema importância o estudo das feições petrográficas das rochas ornamentais, cujo desempenho tecnológico, diferentemente dos revestimentos cerâmicos, não pode ser controlado durante o processo, fazendo com que o produto final tenha características pré-determinadas.

Os materiais rochosos possuem comportamento tecnológico determinado por características intrínsecas e específicas a cada tipo rochoso, cabendo ao homem entender essas características com o objetivo de aproveitar da melhor forma possível um bem não renovável, direcionando o uso da rocha não apenas em função da estética, mas também em função de suas características petrográficas e, portanto tecnológicas (funcionais), a fim de evitar desconfortos, desperdícios, buscando sempre a melhor relação custo benefício.

A utilização dos materiais rochosos para fins ornamentais e de revestimento sem critérios definidos poderá acarretar defeitos dos mais diversos tipos, como a perda de brilho, manchamentos, desintegração de minerais, alterações de cor, diminuição da resistência mecânica, entre outros fatores.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta os resultados do comportamento de dez diferentes tipos de rochas ornamentais polidas, representadas por rochas de composições graníticas, monzoníticas e sieníticas, perante aos efeitos de ataques de substâncias químicas agressivas

diversas. Os resultados obtidos são discutidos em função das características petrográficas (aspectos composicionais, estruturais e texturais) das rochas estudadas, visando o entendimento do comportamento destes materiais frente às solicitações impostas pelos usos em ambientes quimicamente agressivos.

Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dez diferentes tipos de rochas ornamentais polidas e tradicionalmente empregadas como materiais de revestimento, sendo três granitos, três monzonitos e quatro sienitos. Os granitos referem-se às variedades comerciais Vermelho Bragança, Azul Fantástico e Rosa Salmão e os monzonitos aos tipos Preto Piracaia e Preto Bragança, todos oriundos do Complexo Granitóide Socorro e explorados nas regiões de Bragança Paulista e Piracaia, no estado de São Paulo. Os sienitos provêm do Complexo Alcalino Pedra Branca, região de Caldas, no sul de Minas Gerais, e correspondem ao tipo Marrom Caldas e a três variedades de Marrom Café.

Após a caracterização petrográfica as rochas foram submetidas aos testes de alterabilidade segundo as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 13818 - anexo H (ABNT, 1997), utilizada para testes em placas cerâmicas esmaltadas. Para a realização dos ensaios foram aplicadas nas superfícies polidas das rochas substâncias químicas em determinadas concentrações que simulam em velocidade acelerada os efeitos de alguns agentes agressivos utilizados no cotidiano, tais como produtos de limpeza, alimentos, sucos e temperos, conforme sumarizado no Quadro 1.

Por se tratar de materiais naturais, as rochas ornamentais e de revestimento quando expostas a tais situações agressivas, respondem diferentemente dos materiais cerâmicos. Neste sentido, o procedimento adotado no presente trabalho para a avaliação da resistência ao ataque químico oferecido pelas rochas ornamentais sofreu algumas modificações em relação ao método tradicional aplicado para materiais cerâmicos. As modificações

se referem basicamente a avaliação das alterações ocorridas pelos efeitos dos agentes químicos na superfície da rocha. Assim, foram utilizados cinco corpos-de-prova (placas polidas) quadrados com 7cm de lado para cada tipo de rocha, correspondendo à área de ataque a aproximadamente 2/3 da área total da placa.

O ensaio se inicia com a medida do lustro de cada uma das placas em pelo menos três pontos da área a ser atacada. Em seguida as placas são submetidas aos agentes agressivos, cujas concentrações e tempos de exposição encontram-se listados no Quadro 1.

Quadro 1: Reagentes utilizados no ensaio de alterabilidade.

Reagentes	Concentração	Tempo de contato	Substâncias que podem conter os reagentes testados
Cloreto de Amônia (NH ₄ Cl)	100g/l	24h	Detergentes e sabões
Hipoclorito de Sódio (NaClO)	20mg/l	24h	Produtos de tratamento de água de piscina, água sanitária e produtos antimoho
Ácido Cítrico (C ₆ H ₈ O ₇)	100g/l	24h	Sucos de frutas, vinagre e refrigerantes
Ácido Clorídrico (HCl)	3%v/v	96h	Ácido muriático
Hidróxido de Potássio (KOH)	100g/L	96h	Sabão mole

Decorrido o período de exposição necessário a cada reagente, a rocha é lavada somente com água corrente, secada naturalmente e logo depois submetida à avaliação visual sob luz branca e nova medida do lustro (três medidas por placa na região atacada). Baseado nesses dados classifica-se a resistência química da rocha segundo os critérios apresentados na Figura 1, definidos pelos autores especificamente para este trabalho com base nas feições observadas nas diferentes rochas testadas.

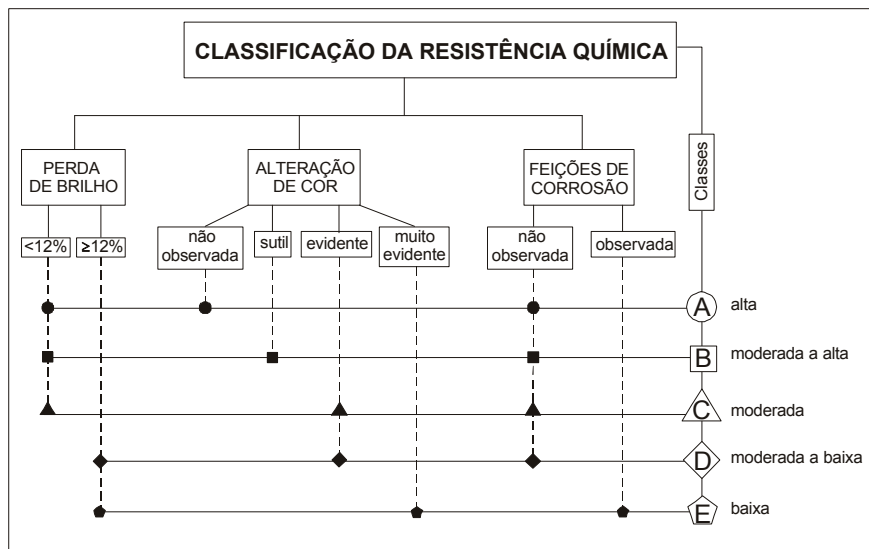


Figura 1: Critérios utilizados para a classificação da resistência ao ataque químico dos materiais estudados.

Todos os procedimentos descritos acima foram realizados nas instalações do Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE/UNESP.

Caracterização Petrográfica dos Materiais Estudados

Os dez tipos de rochas ornamentais acima referidos, e agrupados segundo os conjuntos dos granitos, dos monzonitos e dos sienitos, foram caracterizados sob os aspectos mineralógicos, texturais e estruturais. Os Quadros 2 e 3 oferecem uma síntese das principais feições petrográficas das rochas estudadas.

Conjuntos dos Granitos

Azul Fantástico

Corresponde a um biotita monzogranito megaporfírico serial gnaissificado, de coloração rósea azulada, com matriz inequigranular média a grossa. Os minerais constituintes são: quartzo, plagioclásio, microclínio, biotita, titanita, apatita, epidoto e opacos (Quadro 2).

A textura megaporfírica é devida a presença de megacristais de microclínio de cor rósea, os quais constituem cerca de 20% do volume da rocha. Os megacristais apresentam formas retangulares a ovaladas, irregulares e mesmo laminados, com tamanhos variando de 0,5 x 2,0 cm até 2,0 x 6,0 cm, imersos em uma matriz com dimensões oscilando entre 2 e 8 mm. Sua estrutura grosseiramente gnáissica resulta de protomilonitização mais ou menos intensa, caracterizada por irregular estiramento e achatamento dos grãos de quartzo e feldspatos, associados à moderada isorientação dos megacristais de microclínio e de lamelas de biotita.

O tipo de contato predominante entre os grãos minerais é o côncavo-convexo, representando em média 60% dos contatos presentes na rocha, ocorrendo também o tipo plano (~13%), restritos às porções de concentração de lamelas de biotita, e o serrilhado (~26%) presente nos agregados de quartzo.

O microfissuramento é baixo a moderado, com 0,12 a 0,056 microfissuras/mm², ocorrendo tanto sob a forma intergranular (~67%) quanto intragrãos (~33%), preenchidas por sericita, epidoto e carbonatos, raramente intercomunicadas.

Vermelho Bragança

Monzogranito de textura porfírica com matriz média a fina e estrutura isotrópica, pouco deformado, de coloração vermelha. Os componentes minerais são: quartzo, plagioclásio, microclínio e os acessórios biotita, opacos, titanita e apatita (Quadro 2).

Os megacristais estão representados por microclínio e por quartzo, sendo que os primeiros perfazem cerca de 10% do volume da rocha e os segundos ao redor de 3%. Os megacristais de microclínio apresentam coloração vermelha ou rósea e apresentam formas retangulares, quadradas ou

irregulares com dimensões entre 1 e 2 cm e mais raramente pouco superiores a 3 cm. Os megacristais de quartzo apresentam dimensões menores, do tipo serial, que atingem na média 0,5 a 1,0 cm. Suas formas variam de ovaladas a irregulares, normalmente de cor escura a fumê raramente transparente. Microscopicamente exibem bordas intensamente microgranuladas, parcial ou totalmente recristalizadas, que envolvem o núcleo melhor preservado.

Ao microscópio a transformação mineral é considerada como incipiente, porém com ressalvas para os cristais de plagioclásio que se mostram moderadamente saussuritizados. Também cabe destaque para uma profusa disseminação de argilo-minerais coloridos por óxidos e hidróxidos de ferro, que leva a uma pigmentação dos cristais de feldspatos, tanto nos seus interiores quanto se infiltrando ao longo das microfissuras dos demais minerais.

O contato entre os grãos minerais é predominantemente côncavo-convexo, representando 45% dos contatos presentes na rocha, e serrilhado (cerca de 40%), sendo estes últimos praticamente restritos às porções enriquecidas em quartzo. Em menor escala aparece também os tipos planos, limitados aos contatos entre os cristais maiores de microclínio e plagioclásio ou nas bordas microgranuladas dos megacristais de quartzo.

O microfissuramento é moderado, entre 0,15 a 0,19 microfissuras/mm², identificado principalmente nos cristais de microclínio e plagioclásio. Caracterizam-se por fraturas não preenchidas e razoavelmente bem desenvolvidas, na maior parte intragranulares (79 %).

Rosa Salmão

Biotita monzogranito megaporfírico com matriz de granulação média a grossa, grosseiramente gnaissificado, de coloração rósea amarronzada. A foliação gnáissica é definida pelo estiramento e achatamento dos minerais da matriz e realçada pelos megacristais de feldspato que assumem formas ovaladas a ligeiramente sigmoidais e predominantemente isorientados. Os megacristais estão representados pelo microclínio, com dimensões variando de 0,5 x 1,5 cm a 1,5 x 4,0cm, com predominância entre 0,7 x 2,0 cm, e perfazem cerca de 25% do volume da rocha. A matriz, com granulação média entre 2,0 e 5,0 mm, é composta quartzo, plagioclásio, microclínio, biotita, titanita, zircão e opacos (Quadro 2).

A transformação mineral é incipiente, preferencialmente associada aos cristais de plagioclásio, e representada por pequenos agregados de argilo-minerais de aspecto pulverulento, carbonatos e principalmente sericita e muscovita.

O contato mineral é predominantemente do tipo côncavo-convexo, bem engrenado, perfazendo 98% dos contatos minerais presentes, e em grande parte resultante de microgranulações minerais acompanhadas de parcial a total recristalização. Nas porções mais

enriquecidas em biotita prevalecem os contatos planares.

O microfissuramento é moderado, com uma média de 0,11 microfissuras/mm², normalmente bem desenvolvidas, sendo 26% do tipo intergrão e cerca de 73% As últimas são freqüentes nos megacristais de microclínio, desenvolvidas na direção perpendicular ao maior eixo do mineral, e normalmente preenchidas por biotita, visíveis mesmo a olho nu.

Conjunto dos Monzonitos

Preto Piracaia médio/fino

Corresponde a um monzonito inequigranular médio a fino, de aspecto geral microporfírico, de coloração cinza escura marcado por traços róseo-esbranquiçados devido a presença de pequenas ripas de plagioclásio caoticamente distribuídas pela rocha. A estrutura é discretamente foliada, sendo que microscopicamente exhibe certo padrão amendoado. Os constituintes minerais são: quartzo, plagioclásio, microclínio, biotita, hornblenda, titanita, apatita, epidoto e opacos (Quadro 2).

A textura da rocha é bastante homogênea, com granulação média oscilando entre 0,3 e 4,0 mm, predominando a faixa de 0,5 a 0,7 mm, podendo, entretanto, ocorrer cristais ripiformes de plagioclásio com dimensões de cerca de 0,3 x 10,0 mm.

A transformação mineral processa-se de maneira incipiente a moderada, destacando-se a formação de carbonatos como resultado da alteração do plagioclásio. Em menores proporções aparece a sericita substituindo o plagioclásio e microclínio.

Os minerais mostram bom entrelaçamento interno, prevalecendo o tipo côncavo-convexo, representando 97 % dos contatos minerais presentes na rocha, e raros contatos do tipo plano, evidenciado pelas lamelas subédricas de biotita.

O microfissuramento é baixo, na média ao redor de 0,07 microfissuras/mm², caracterizado como fissuras pouco desenvolvidas, predominantemente do tipo intragrão (80%) e restritas aos cristais de plagioclásio e microclínio. As microfissuras mostram-se desprovidas de preenchimento mineral e com baixa comunicabilidade. No geral exibem orientação preferencial, segundo a isorientação dos cristais, atingindo maior intensidade nas porções mais deformadas.

Preto Piracaia fino

A diferença básica entre este tipo e o anterior reside fundamentalmente na sua granulação mais fina, o que reflete numa coloração mais escura exibida por estas rochas. Também apresenta estrutura discretamente foliada destacada pela isorientação das ripas de feldspato e, em nível microscópico, definida pela sutil orientação de lamelas de biotita. Composicionalmente, estes monzonitos mais finos são levemente mais enriquecidos em minerais máficos (Quadro 2).

A textura exibida por este material é equigranular fina, com granulação variando de 0,2 a 2,0 mm. Ocasionalmente ocorrem delgadas ripas de plagioclásio que podem atingir até cerca de 1 cm de extensão. A transformação mineral é incipiente dada principalmente pela saussuritização nos cristais mais desenvolvidos de plagioclásio.

O tipo de contato entre os grãos é predominantemente o côncavo-convexo, com 96 % dos contatos minerais existente na rocha, ocorrendo também o tipo plano em menor intensidade. Os cristais maiores exibem bordas freqüentemente microgranuladas e parcialmente recristalizadas.

O microfissuramento presente é baixo, configurando 0,06 microfissuras/mm², sendo que ao redor 80 % correspondem a fissuras intragrãos, pouco desenvolvidas e normalmente sem preenchimento. Mostram-se isoladas e dispostas de forma mais ou menos orientada.

Preto Bragança

Monzonito microporfírico, com estrutura isotrópica, de coloração cinza escuro, salpicado por pontuações brancas. Composicionalmente é constituído por plagioclásio, microclínio, biotita, hornblenda, pouco quartzo, além dos acessórios titanita, apatita e opacos (Quadro 2).

Os fenocristais são de feldspatos anédricos a subédricos, ocorrendo como cristais individuais ou em agregados com formas arredondadas de dimensões que atingem cerca de 7,0 mm, distribuídos aleatoriamente na matriz fina. A granulação da matriz varia de 0,2 até 0,7 mm, predominando 0,5 mm. Os feldspatos apresentam dimensões que gradam desde a granulação da matriz até a dos microfenocristais.

A alteração mineral é incipiente, e aparece com maior freqüência nos cristais de plagioclásio, originando argilo-minerais, carbonatos e sericita, salpicados por todo o cristal. Pequenas palhetas de biotita também aparecem preenchendo planos de clivagem do plagioclásio.

O tipo de contato que prevalece entre os cristais é o côncavo-convexo, compreendendo cerca de 95 % dos contatos minerais presentes na rocha. No mais corresponde ao tipo plano, restrito aos contatos entre os cristais de biotita e microclínio.

O microfissuramento é baixo, cerca de 0,05 microfissuras/mm², representado por discretas fissuras intergrãos nos agregados de microclínio e quartzo. São abertas e não apresentam conexão entre si.

Conjunto dos Sienitos

Marrom Café grosso

Egerina augita-ortoclásio sienito marrom escuro, inequigranular com granulação grossa, e caracterizado por marcante estrutura de fluxo plástico. A granulação varia de 0,3 mm até 30 mm, predominando de 7 a 15 mm. O feldspato potássico, essencialmente ortoclásio, constitui cerca de 70% da

rocha e é responsável pela granulação grossa. Os minerais máficos estão representados principalmente por piroxênios e biotita, além de titanita, opacos e apatita (Quadro 3). O piroxênio representado por uma variedade de egerina-augita, apresenta coloração verde musgo que se destaca macroscopicamente em meio à massa feldspática da rocha. A apatita é um acessório bastante comum, apresenta hábito prismático e atinge dimensões que podem ultrapassar a casa dos 3,0 mm, sendo que os cristais maiores encontram-se bastante fraturados.

A estrutura fluidal é definida pela intensa isorientação e justaposição de cristais tabulares de feldspato potássico, contendo freqüentes intercalações lineares descontínuas constituídas por minerais máficos. A presença da estrutura fluidal possibilita a obtenção de placas esteticamente distintas, sendo uma de padrão amendoado, obtida em placas com superfícies paralelas à foliação, e outra do tipo laminada, resultante de placas com superfícies de corte normal ao estiramento mineral.

Os contatos minerais se restringem aos tipos planos e côncavo-convexos, com variações nas proporções entre os mesmos em função da posição dos planos observados. Planos perpendiculares à foliação da rocha exibem uma maior ocorrência dos contatos do tipo plano, equivalente a 65 % dos contatos minerais, devido ao paralelismo das faces tabulares dos cristais de feldspato potássico, os quais apresentam nítida disposição por justaposição. Já, em cortes paralelos à foliação predominam contatos minerais do tipo côncavo-convexo, perfazendo 70% dos contatos observados.

O microfissuramento é alto, na média de 0,4 microfissuras/mm², sendo 90 % delas de caráter intragrão, preenchidas por sericita e óxidos e hidróxidos de ferro, distribuídas perpendicularmente ao maior alongamento dos cristais de feldspato potássico. As microfissuras do tipo intergrão são pouco freqüentes, porém de caráter mais expressivo e normalmente encontrando-se soldadas por material sericítico.

A alteração mineral é incipiente a moderada e mais efetiva nos cristais de piroxênio, os quais encontram-se intensamente fraturados e com bordas substituídas por carbonatos e anfibólio. O feldspato potássico mostra alteração incipiente e a biotita encontra-se praticamente intacta.

Marrom Café grosso/médio

Sob a mesma denominação comercial, difere do material anterior pela granulação média e tonalidade marrom avermelhada. Apresenta evidente estrutura fluidal, caracterizada pela justaposição dos cristais tabulares alongados de feldspato potássico. A presença de tal estrutura possibilita, à semelhança da variedade comercial anterior, a obtenção de placas esteticamente distintas, segundo cortes paralelos e normais à foliação da rocha (Quadro 3).

A granulação oscila de 0,2 a 15 mm, e na média ao redor de 5 a 10 mm. O feldspato potássico, representado pelo ortoclásio, é predominante e responsável pela granulação média. Os minerais

escuras ocorrem de maneira intersticial entre os cristais de feldspato, principalmente o piroxênio sob forma de pequenos prismas alongados de cor verde escura, com dimensões máximas ao redor de 6 mm, bem como a apatita, com coloração verde clara típica, e a biotita.

Os contatos entre os minerais são dos tipos plano e côncavo-convexo, sendo a maior ou menor predominância de ambos determinada pela posição do plano de corte observado, o que reflete a justaposição de cristais tabulares de feldspato potássico. O tipo côncavo-convexo perfaz cerca de 50% no plano paralelo à foliação, sendo que no plano perpendicular à foliação da rocha os contatos planos são dominantes, superando os 65%.

O microfissuramento é alto, na média 0,5 microfissuras/mm², essencialmente do tipo intragrão, representando cerca de 90% das fissuras observadas. O ortoclásio caracteriza-se por cerrado sistema de microfissuramento ortogonal ao seu maior estiramento, com microfissuras tanto abertas quanto preenchidas por sericita, argilo-minerais e por óxidos e hidróxidos de ferro.

A alteração mineral varia de incipiente a moderada, associada ao piroxênio e ao ortoclásio, e representada por argilo-minerais e óxidos e hidróxidos de ferro, tanto profusamente disseminados pelos cristais quanto concentrado no centro e preferencialmente desenvolvidas nos planos de clivagem mineral, sob aspectos de inúmeras ranhuras lineares e isoparalelas.

Marrom Café médio

Considerada como variedade típica da rocha ornamental Marrom Café explorada na região, caracteriza-se por apresentar agregados de minerais máficos homogeneamente distribuídos na massa feldspática de coloração marrom acastanhada que, segundo os mineradores, se assemelham a grãos de café dispostos sobre a superfície polida da rocha.

Corresponde a um egerina augita-ortoclásio sienito que difere dos dois tipos anteriores, por apresentar granulação pouco mais reduzida, aspecto textural mais homogêneo, e coloração marrom escuro com leve tonalidade acastanhada. Apresenta, igualmente, estrutura fluidal marcante definida pela justaposição de cristais tabulares de feldspato potássico justapostos, cujos planos contém intercalações lineares e descontínuas constituídas por agregados de minerais máficos. Como os demais tipos anteriormente descritos, este também possui dois sentidos de corte de placas.

Mineralogicamente é constituído essencialmente por ortoclásio (cerca de 80% do volume da rocha), sob forma de cristais retangulares a tabulares, egerina augita (cerca de 10%) e biotita (aproximadamente 4%), destacando-se entre os acessórios a apatita, titanita e opacos (Quadro 3). A granulação varia entre 0,3 e 15 mm, segundo o maior alongamento mineral, com predominância entre 4 e 7 mm. Os minerais escuros distribuem-se intersticialmente entre os cristais de feldspato, com dimensões médias normalmente inferiores a 2 mm,

ora alinhados segundo a direção de fluxo ora sob a forma de agregados irregulares.

Tanto no corte normal à foliação de fluxo quanto no corte paralelo, os contatos tipo plano e côncavo-convexo somam cerca de 90%, com leve predomínio do último. Este tipo ocorre devido as freqüentes recristalizações do ortoclásio.

O microfissuramento é alto, na média ao redor de 0,3 microfissuras/mm², com 92,5 % correspondendo ao tipo intragrão e normalmente preenchidos por sericita, epidoto e carbonatos. O sistema predominante de microfissuramento, à semelhança das duas variedades anteriores, desenvolve-se sobre os cristais de ortoclásio e com nítida disposição ortogonal ao estiramento mineral.

A alteração mineral é incipiente a moderada, representada por agregados de argilo-minerais, óxidos e hidróxidos de Fe e carbonatos concentrados nas bordas e ao longo dos planos de clivagens do feldspato potássico. A biotita aparece tanto nos planos de clivagens dos cristais de piroxênios, quanto associadas a carbonatos e cummingtonita nas bordas ou nas proximidades do piroxênio.

Marrom Caldas

Também denominado no mercado internacional de Califórnia Brown, apresenta coloração rosa amarronzada, salpicada por pontuações escuras de minerais máficos. Petrograficamente corresponde a um egerina augita-ortoclásio sienito com quartzo, com textura equigranular média fina, discretamente foliado. A granulação oscila entre 0,3 e 10 mm, predominantemente entre 3 e 5 mm, sendo que o feldspato potássico constitui os cristais com as maiores dimensões. Mineralogicamente difere dos sienitos anteriores por apresentar menores teores de piroxênio, e por conter cerca de 12 a 13% de hornblenda, 2 a 3% de plagioclásio (oligoclásio) e ao redor de 3% de quartzo (Quadro 3).

A foliação de fluxo é pouco evidente e definida principalmente por discreta isorientação dos cristais tabulares de feldspato potássico e, em parte, também pelos minerais máficos que se dispõem concordante à estruturação geral da rocha.

Quadro 2: Síntese dos dados petrográficos dos granitos e monzonitos ornamentais ensaiados e provenientes do Complexo Granítico Socorro (SP/MG).

Mineralogia (%)	Azul Fantástico	Vermelho Bragança	Rosa Salmão	Preto Piracaia Médio/fino	Preto Piracaia fino	Preto Bragança	
Quartzo (totais/megacristas)	22,2	26,5/3,2	23,1	2,0	0,8	0,7	
Plagioclásio	29,9	29,0	32,4	33,1	34,3	30,0	
Microclínio(tot./megacrístais)	31,1/19,1	39,0/9,4	34,0/24	28,6	24,9	24,0	
Biotita	15,3	5,3	9,3	23,6	26,4	26,6	
Hornblenda	---	---	---	5,2	7,1	11,2	
Granada	---	---	---	---	---	---	
Titanita	0,2	---	Tr	2,8	2,5	2,2	
Apatita	0,2	Tr	0,2	1,0	0,8	2,6	
Epidoto	0,5	Tr	---	2,1	1,6	2,3	
Opacos	0,6	0,2	1,0	1,6	1,6	0,3	
Zircão	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	
Muscovita	---	---	---	---	---	---	
Carbonato	Tr	---	Tr	Tr	Tr	0,1	
Sericita/clorita	Tr/---	Tr/----	Tr/----	Tr/Tr	Tr/Tr	Tr/---	
Granulação (mm)	Varição	---	---	0,3 a 4,0	0,2 a 2,0	---	
	Predominância	---	---	0,5 a 0,7	0,3 a 0,5	---	
Matriz Fenocristal	2,0 a 8,0	0,5 a 3,0	0,3 a 5,0	---	---	0,2 a 0,7	
	20 a 50	10 a 30	15 a 40	---	---	0,9 a 1,3	
Classificação (QAP)	Biotita Monzogranito Megaporfírico	Monzogranito Porfírico	Monzogranito Megaporfírico	Monzonito Médio/fino	Monzonito Fino	Monzonito Microporfírico	
	Gnaissificada	Isótropa	Gnaissificada	Moderadamente foliada	Discretamente foliado	Isótropa	
Estrutura	Megaporfírica serial	Pofírica serial	Megaporfírica	Inequigranular	Equigranular	Microporfírica	
Índice de minerais escuros	18,3	5,3	10,5	34,8	39,7	41,6	
Microfissuras	Total (mm ²)	0,12	0,12	0,06	0,056	0,05	
	Intragrão (%)	58,9	90,0	64,3	87,5	75,0	0,0
Contato (%)	Intergrão (%)	41,1	10,0	35,7	12,5	25,0	100
	Côncavo-convexo Serrilhado Plano	57,8 19,1 23,1	57,7 35,45 9,0	97,7 --- 2,3	97,0 --- 3,0	97,4 --- 2,6	94,0 --- 6,0
Transformação mineral	Incipiente a moderada	Moderada	Incipiente	Incipiente a moderada	Incipiente a moderada	Incipiente	

Quadro 3: Síntese dos dados petrográficos dos sienitos ornamentais estudados e provenientes do Maciço Alcalino Pedra Branca. (MG)

Mineralogia %	Marrom Café grosso		Marrom Café grosso/médio		Marrom Café médio		Marrom Caldas				
	Normal à foliação	Paralela à foliação	Normal à foliação	Paralelo à foliação	Normal à foliação	Paralela à foliação	Normal à foliação	Paralela à foliação			
Ortoclásio	69,0	71,1	79,3	74,0	81,5	81,0	68,8	69,2			
Piroxênio	19,6	17,9	14,3	16,9	11,7	11,0	8,5	6,0			
Plagioclásio	---	---	---	---	---	---	2,4	2,3			
Biotita	3,6	2,9	1,3	2,5	4,0	3,3	0,7	0,5			
Hornblenda	---	---	---	---	---	---	12,2	13,0			
Titanita	1,5	3,2	1,0	2,0	1,3	1,0	0,7	0,8			
Apatita	3,2	2,1	2,2	2,6	2,3	2,0	2,0	3,2			
Opacos	2,1	2,3	1,9	2,0	1,9	1,7	1,8	2,0			
Quartzo	---	---	---	---	---	---	2,9	3,0			
Carbonato	---	---	---	---	---	---	Tr	Tr			
Sericita/Clorita	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	TR			
Muscovita	Tr	Tr	Tr	Tr	---	---	---	---			
Granulação (mm)	variação		0,3 a 15		0,2 a 15		0,2 a 15				
	Predominância		5 a 10		4 a 7		5				
Classificação (QAP)											
Estrutura	Álcali-feldspato sienito		Álcali-feldspato sienito		Álcali-feldspato sienito		Álcali-feldspato sienito supersaturado				
Textura	Marcante foliação de fluxo		Marcante foliação de fluxo		Foliação de fluxo convoluta		Frac foliação de fluxo				
	Inequigranular grossa	Inequigranular grossa	Equigranular Média	Equigranular Média	Inequigranular Média/grossa	Inequigranular Média/grossa	Equigranular Média / fina	Equigranular Média / fina			
Índice de minerais escuros		30,0		23,3		18,7		25,7			
Microfissuras	Totais/mm ²	0,43	0,5	0,56	0,30	0,35	0,27	0,35			
	Intragrão %	95,0	90,0	84,6	90,6	95,0	97,5	88,0			
	Intergrão %	5,0	10,0	15,4	9,4	5,0	2,5	12,0			
Contato %	Côncavo/convexo	71,6	52,2	40,0	96,6	85,6	74,0	64,0			
	Plano	28,4	47,8	60,0	3,3	14,4	31,4	36,0			
Transformação mineral			Incipiente a moderada			Incipiente a moderada			Incipiente		

Nesse litotipo predomina o contato do tipo côncavo-convexo em relação ao tipo plano, independente do plano observado ser paralelo ou perpendicular a foliação. Os primeiros representam na média cerca de 70 % de contatos minerais presentes na rocha.

O microfissuramento é alto, na média de 0,3 microfissuras/mm², contudo bem inferior quando comparado com os sienitos de granulação grossa e grossa/média aqui estudados. As fissuras são pouco desenvolvidas e predominando o tipo intragrão, que perfaz cerca de 90% do total, e encontra-se preenchidas por sericita e carbonatos. Dentre os minerais, os cristais de ortoclásio se caracterizam por um padrão mais regular das microfissuras, predominantemente intragrão, com seus traços dispostos de forma perpendicular ao alongamento do mineral.

A alteração mineral é incipiente, devida principalmente às transformações do feldspato potássico para sericita e argilo-minerais, e mais discretamente nos piroxênios que geram pequenas manchas difusas de biotita e de anfibólio sódico tanto nas bordas dos cristais quanto ao longo dos planos de clivagens.

Apresentação e Discussão dos Resultados de Ataque Químico

O Quadro 4 sintetiza a classificação da resistência ao ataque químico das rochas estudadas segundo os resultados de perda de brilho, alterações de cor e efeitos de corrosão obtidos.

Pela observação do Quadro 4 constata-se que o cloreto de amônia corresponde ao agente químico menos agressivo, seguido de perto pelos compostos hipoclorito de sódio e hidróxido de potássio, sendo os ácidos cítrico e clorídrico os que mais afetam as superfícies polidas das rochas. Por outro lado, as rochas graníticas são as que apresentam as maiores resistências frente aos agentes agressivos empregados e os conjuntos dos monzonitos e sienitos reagem distintamente à ação das diferentes substâncias.

Os granitos são classificados como de resistência química alta (classe A) com relação aos agentes cloreto de amônia, hipoclorito de sódio e ácido cítrico e hidróxido de potássio, apresentando uma baixa perda de brilho (< 12%) e nenhuma alteração de cor e/ou feições de corrosão. Já com relação ao ácido clorídrico essas rochas apresentaram uma sutil descoloração enquadrando-se na classe de resistência moderada a alta (classe B).

Os monzonitos tiveram resistência alta (classe A) apenas no ataque dos agente cloreto de amônia e apresentaram resistência moderada a alta (classe B) sob ataque do hipoclorito de sódio e hidróxido de potássio. Por constarem de coloração escura e elevada porcentagem de minerais máficos, essas rochas demonstraram resistência moderada (classe C) ao ataque do ácido cítrico, com perda de brilho > 12% e sutil descoloração. Exceção apenas

para o material Preto Bragança que devido a sua textura microporfirítica com matriz fina a afânica, apresenta baixa absorção d'água (IPT, 2002) e conseqüentemente do reagente, conferindo classe de resistência moderada a alta (classe B). Com relação ao ácido clorídrico a resistência dos monzonitos diminui ainda mais, ocorrendo elevadas perdas de brilho, forte descoloração acompanhada de corrosão, enquadrando-se na classe de resistência química baixa (classe E).

As rochas sieníticas tiveram resistência química alta ao ataque dos agentes cloreto de amônia, hipoclorito de sódio e hidróxido de potássio. Quanto ao ácido cítrico essas rochas apresentaram, perda de brilho variando de 3 a 14%, sendo classificadas como classe C (resistência moderada) a classe D (moderada a baixa), com desbotamento da aegerina-augita e intensa descoloração da apatita, conferindo às superfícies polidas das rochas pontuações esbranquiçadas e aspecto salpicado. Já, em relação ao ácido clorídrico apresentaram resistência baixa (classe E), caracterizadas por elevadas perdas de brilho, descoloração da aegerina-augita e do feldspato potássico, além da dissolução completa da apatita formando cavidades milimétricas na rocha. Contudo, o sienito Marrom Caldas, devido a presença de quartzo, menores teores de piroxênios, coloração mais clara, menor grau de microfissuramento e discretamente foliada, demonstrou alteração de cor menos acentuada e menor perda de brilho.

Quadro 4: Classe de Resistência Química (CRQ) dos granitos, monzonitos e sienitos estudados com base nos dados de porcentagem de perda de brilho, alteração de cor e feições de corrosão. Símbolos: superfície polida paralela à foliação (/) e superfície polida normal à foliação (⊥), nada observado (n.o.), sutil (s.), muito evidente (m.e.), Observado (ob.).

Rochas	Cloreto de Amônia NH ₄ Cl				Hipoclorito de Sódio NaClO				Ácido Cítrico C ₆ H ₈ O ₇				Ácido Clorídrico HCl				Hidróxido de Potássio KOH				
	Perda de Brilho (%)	Alteração de cor	Feições de Corrosão	CRQ	Perda de Brilho (%)	Alteração de cor	Feições de Corrosão	CRQ	Perda de Brilho (%)	Alteração de cor	Feições de Corrosão	CRQ	Perda de Brilho (%)	Alteração de cor	Feições de Corrosão	CRQ	Perda de Brilho (%)	Alteração de cor	Feições de Corrosão	CRQ	
Granitos	Azul Fantástico	1,4	n.o.	n.o.	A	7	n.o.	n.o.	A	6	n.o.	n.o.	A	13	Ob.	n.o.	C/D	8	n.o.	n.o.	A
	Vermelho Bragança	2,6	n.o.	n.o.	A	4	n.o.	n.o.	A	1,4	n.o.	n.o.	A	5	n.o.	n.o.	B	4	n.o.	n.o.	A
	Rosa Salmão	0	n.o.	n.o.	A	0	n.o.	n.o.	A	6	n.o.	n.o.	A	5	n.o.	n.o.	B	4	n.o.	n.o.	A
Monzonitos	Preto Piracata médio/fino	7	n.o.	n.o.	A	12	s	n.o.	B	26	s	n.o.	C	46	m.e.	Ob.	E	16	s.	n.o.	B
	Preto Piracata fino	3	n.o.	n.o.	A	6	s	n.o.	B	27	s	n.o.	C	32	m.e.	Ob.	E	15	s.	n.o.	B
	Preto Bragança	0	n.o.	n.o.	A	0	n.o.	n.o.	A	10	s	n.o.	B	22	m.e.	Ob.	E	8	s.	n.o.	B
Sienitos	Marrom Café grosso	//	0	n.o.	A	0	n.o.	n.o.	A	12	e.	n.o.	C/D	45	m.e.	Ob.	E	13	n.o.	n.o.	A
		⊥	1,4	n.o.	A	3	n.o.	n.o.	A	3	e.	n.o.	C	36	m.e.	Ob.	E	8	n.o.	n.o.	A
	Marrom Café grosso/médio	//	0	n.o.	A	0	n.o.	n.o.	A	6	e.	n.o.	C	43	m.e.	Ob.	E	9	n.o.	n.o.	A
		⊥	0	n.o.	A	0	n.o.	n.o.	A	9	e.	n.o.	C	35	m.e.	Ob.	E	3	n.o.	n.o.	A
	Marrom Café médio	//	1,4	n.o.	A	0	n.o.	n.o.	A	14	e.	n.o.	C/D	51	m.e.	Ob.	E	14	n.o.	n.o.	A
		⊥	0	n.o.	A	1,4	n.o.	n.o.	A	13	e.	n.o.	C/D	45	m.e.	Ob.	E	15	n.o.	n.o.	A
Marrom Caldas	//	2,6	n.o.	A	0	n.o.	n.o.	A	1,4	s.	n.o.	B	32	e.	Ob.	E	4	n.o.	n.o.	A	
	⊥	0	n.o.	A	1,4	n.o.	n.o.	A	1,4	s.	n.o.	B	14	e.	Ob.	E	4	n.o.	n.o.	A	

Fatores Petrográficos que Definem a Resistência da Rocha ao Ataque Químico

A capacidade das rochas resistirem ao ataque de determinados agentes químicos está inteiramente relacionada com suas características intrínsecas, ou seja, função dos seus aspectos composicionais, mineralógicos, texturais e estruturais, conforme abaixo comentados.

A composição mineral é o principal condicionante da resistência das rochas em relação ao ataque de substâncias químicas. Rochas de composição ácida, ou seja, mais de 66% de sílica (SiO₂) na constituição, são as que resistem mais ao ataque químico. Essas rochas são representadas pelo conjunto dos granitos, compostos essencialmente por quartzo e feldspatos. Assim, a medida que uma rocha possua deficiência em sílica, sua composição mineral torna-se mais básica, conseqüentemente constituída por minerais com elevados teores de ferro, cálcio e magnésio, tornando-as mais susceptíveis ao ataque das substâncias químicas, como demonstrado pelos monzonitos e, em alguns aspectos, pelos sienitos ora estudados.

Contudo, determinados minerais mesmo ocorrendo em pequenas quantidades nas rochas (menos que 5%), considerados acessórios, podem reagir com determinadas substâncias e provocar grandes danos às superfícies polidas das rochas. Caso este, constato nas rochas sieníticas testadas, em que o mineral apatita, mesmo ocorrendo em porcentagens que não ultrapassam a casa dos 3%, é o principal mineral responsável pelas marcantes alterações de coloração da rocha e desenvolvimento, por dissolução, de cavidades nas superfícies polidas dos sienitos perante ao ataque do ácido clorídrico.

Com relação aos minerais essenciais, os mais susceptíveis aos ataques químicos, foram a biotita e o piroxênio (egerina-augita). Esses minerais foram atacados pelos ácidos cítrico e clorídrico, apresentando forte descoloração, sobretudo no ataque do ácido clorídrico.

A coloração da rocha é outro fator que colabora para atenuar ou evidenciar as alterações sofridas pelos materiais. As colorações escuras acentuam as alterações cromáticas decorrentes dos ataques químicos como bem evidenciado pelas rochas monzoníticas, de cor cinza escuro, que apresentaram alterações de cor mesmo ao ataque do hipoclorito de sódio e do hidróxido de potássio. Já as rochas de coloração clara, com tons esbranquiçados, rosados e acinzentados, como os granitos analisados, somente apresentaram alterações perceptíveis a visão após o ataque do ácido clorídrico, e mesmo assim de maneira sutil. Destaca-se, entretanto, que mesmo entre os granitos, o Azul Fantástico de coloração cinza azulado foi moderadamente afetado pela alteração de cor perante a ação do ácido clorídrico.

Os aspectos texturais e estruturais das rochas também influenciam no comportamento químico dos materiais. Nas rochas de granulação mais fina e estruturas isotrópicas, o engrenamento

mineral e as descontinuidades físicas são bem mais discretas, o que dificulta a absorção d'água e conseqüentemente de reagentes. Por conseguinte a superfície específica é menor e as reações são reduzidas.

Entre as rochas monzoníticas, o Preto Bragança, por apresentar uma granulação fina e estrutura isotrópica, é o material que apresenta melhor desempenho quando comparado aos materiais Preto Piracaia, os quais apesar da granulação fina são discretamente foliados. E mesmo entre os tipos Preto Piracaia, apesar da sutil diferença de granulação, o mais fino apresenta uma perda de brilho menos acentuada (Quadro 4).

Nas rochas do conjunto sienítico, as quais são mais sensíveis ao ataque dos agentes químicos, as superfícies paralelas à foliação foram as mais afetadas pelas substâncias testadas. Este fato explica-se pelo fato de tais superfícies amendoadas, apresentarem maiores áreas de exposição dos cristais de egerina augita, os quais são mais sensíveis que os cristais de feldspato potássico frente às substâncias agressivas. Já, nas superfícies normais à foliação, os cristais de piroxênio apresentam-se sob a forma de delgadas linhas descontínuas e, portanto, com área de exposição bastante reduzida, o que reflete em menor perda de brilho registrada nessa superfície (Quadro 3). O simples fato da disposição mineral ser diferente nas duas posições testadas é suficiente para que a superfície normal à foliação seja menos atacada, mesmo sendo esta a que contém os planos de foliação e ainda um sistema cerrado de microfissuras ortogonais a elongação dos cristais de feldspato, contudo de caráter intragrão e preenchidas.

CONCLUSÕES

A resistência das rochas diante do ataque das substâncias químicas é reflexo das características texturais, estruturais e, sobretudo, composicionais.

Assim, os granitos por constarem de composição essencialmente quartzo-feldspáticas e de coloração clara, tendem a serem mais resistentes ao ataque dos agentes químicos. Estes materiais podem ser empregados em ambientes que requerem constantes limpezas, como cozinhas, banheiros, bares e lanchonetes. Contudo, a utilização de agentes limpantes, nesses materiais, deve ser feita com cautela, dando preferência para substância menos agressivas, e dessa forma permitindo que a rocha permaneça com suas características originais por mais tempo.

Os monzonitos, rochas de coloração escura e com elevada porcentagem de minerais máficos, apresentam as maiores perdas de brilho e também demonstram alterações cromáticas. Assim deve-se evitar o contato dessas rochas com os reagentes testados, com exceção apenas do cloreto de amônia presente em detergentes. Esse tipo de rocha, deve ser empregada preferencialmente em ambiente seco que não necessite de constantes limpezas.

As rochas ornamentais do conjunto científico apresentaram baixa resistência química ao ataque dos ácidos cítrico e clorídrico, em consequência da presença dos minerais apatita e egerina-augita, ocorrendo além de alterações cromáticas, uma profunda corrosão originando cavidades nas superfícies das amostras testadas. Com relação aos demais reagentes, as rochas apresentaram bom desempenho, porém indica-se esses materiais para ambientes secos com limpezas eventuais através de agentes neutros, evitando assim o uso diário das substâncias agressivas.

Agradecimentos

Agradecemos a Profa. Dra. Maria Margarita Torres Moreno do DPM/IGCE/UNESP-Campus de Rio Claro, pela ajuda prestada na realização dos ensaios, e à FAPESP (processo 01/02681-8) pelo apoio financeiro através do projeto de mestrado da primeira autora o que permitiu a realização do presente trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS 1997. Determinação da resistência ao ataque químico (NBR 13.818 anexo – H: normativo).
- Aires Barros, L. 1991. Alteração e alterabilidade de rochas. Lisboa. Impresso Nacional Casa da Moeda, 1991.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2000. Catálogo de Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo. Coordenado por M.H.B de O. Frascá. São Paulo: SCTDE/. CD-ROM. (publicação, 2651).
- Mesquita, M. P. S. 2002. Composição, estrutura, propriedades tecnológicas e alterabilidade dos granitos ornamentais do stock Morrinho, Santa Quitéria (CE). Tese Doutorado, IGCE/UNESP, Rio Claro-SP. 171p.
- Navarro, F. C. & Artur, A.C. 2002. Caracterização petrográfica como ferramenta para a previsão do comportamento físico e mecânico de granitos ornamentais: uma discussão. Anais III Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, Pernambuco. p:2-9.
- Navarro, F. C. 2002. Caracterização petrográfica como técnica para a previsão do comportamento físico e mecânico de granitos ornamentais. Dissertação de mestrado IGCEUNESP.88p.
- Rodrigues, E de P; Coutinho, J. M. V. e Chioldi Filho, 1996. Petrografia microscópica: uma previsão do passado; presente e futuro da rocha ornamental. Ver. Rocha de Qualidade. São Paulo n' 127; p.80-84.